



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

铁合金生产

◆ 钢铁冶炼专业 ◆

刘卫 主编



冶金工业出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

铁合金生产

(钢铁冶炼专业)

主 编 刘 卫
主 审 王筱留
审 稿 王筱留 葛志祺

北 京
冶金工业出版社

2007

内 容 提 要

本书以硅、锰、铬系合金生产为主，系统介绍矿热炉、电极、炉衬及各主要品种的生产工艺和常见事故的处理，简述了钨铁、钛铁、钒铁、钨铁的冶炼、生产车间概况、主要技术指标、三废治理等。

本书亦可作为职业技术学院钢铁冶炼专业教学用书，也可用于钢铁冶金企业职工培训或供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铁合金生产/刘卫主编. —北京: 冶金工业出版社,
2005. 5 (2007. 1 重印)

中等职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5024-3670-4

I. 铁… II. 刘… III. 铁合金 (炼钢原料) —熔炼
—专业学校—教材 IV. TF6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 006999 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 王秋芬 宋 良 美术编辑 李 心

责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 牛晓波

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2005 年 5 月第 1 版, 2007 年 1 月第 3 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.75 印张; 353 千字; 223 页; 4501~6000 册

23.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
冶金物理化学 (本科教材)	张家芸 主编	39.00
冶金工程实验技术 (本科教材)	陈伟庆 主编	39.00
自动检测和过程控制 (第3版) (本科教材)	刘元扬 主编	36.00
热工测量仪表 (第3版) (本科教材)	张 华 等编	38.00
钢铁冶金原理 (第3版) (本科教材)	黄希祜 编	40.00
钢铁冶金原理习题解答 (本科教材)	黄希祜 编	估 30.00
炼焦学 (第3版) (本科教材)	姚昭章 主编	39.00
现代冶金学——钢铁冶金卷 (本科教材)	朱苗勇 主编	36.00
炼钢工艺学	高泽平 编	39.00
冶金热工基础 (本科教材)	朱光俊 主编	估 30.00
烧结矿与球团矿生产 (高职高专规划教材)	王悦祥 主编	29.00
冶金技术概论 (高职高专规划教材)	王庆春 主编	26.00
炉外精炼 (高职高专规划教材)	高泽平 等编	30.00
炼焦化学产品回收技术 (职业技能培训教材)	何建平 等编	59.00
铁矿粉烧结生产 (职业技能培训教材)	贾 艳 主编	23.00
高炉炼铁基础知识 (职业技能培训教材)	贾 艳 主编	32.00
高炉喷煤技术 (职业技能培训教材)	金艳娟 主编	19.00
高炉炉前操作技术 (职业技能培训教材)	胡 先 主编	25.00
高炉热风炉操作技术 (职业技能培训教材)	胡 先 主编	25.00
炼钢基础知识 (职业技能培训教材)	冯 捷 主编	39.00
转炉炼钢生产 (职业技能培训教材)	冯 捷 主编	58.00
连续铸钢生产 (职业技能培训教材)	冯 捷 主编	45.00
冶金建设工程技术	李慧民 主编	28.00

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均做了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

本书是为满足职业技术教育的需要，根据职业教育课程改革和教学大纲的要求，并参考冶金行业的职业技能鉴定规范编写的。“铁合金生产”是职业技术学院钢铁冶炼专业的主干课程，编写过程中，注重以职业（岗位）需求为依据，突出职业教育的特点，力求理论联系实际，内容少而精，通俗易懂，注重应用，便可自学。

铁合金品种繁多，本书以硅、锰、铬系合金生产为主，系统介绍矿热炉、电极、炉衬及各主要品种的生产工艺和常见事故的处理，简述了钼铁、钛铁、钒铁、钨铁的冶炼、车间概况、主要技术指标、三废治理等。在编写过程中参考了国内同行编写的有关专著、手册、教材的资料和图表，在此向他们表示感谢。

本书由贵州师范大学材料工程系刘卫主编。参加本书编写工作的有：遵义铁合金公司龚仕成（第2、3章），贵州师范大学材料工程系丁彤（第1、6章）、刘卫（绪论、第4、5、9、10章）、杨红燕（第7、8章）。北京科技大学王筱留教授审阅了全稿，并提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

由于编者水平有限，不足之处，敬请读者批评指正。

编 者
2004年10月

目 录

绪 论	1
1 铁合金冶炼的基本原理	5
1.1 铁合金冶炼的本质	5
1.2 选择性还原理论在铁合金中的应用	6
1.2.1 选择性还原与铁合金生产的关系	6
1.2.2 选择还原计算举例	9
1.3 用氧化物生成自由能与温度关系图作指导选择还原剂	13
1.3.1 碳质还原剂及其特点	14
1.3.2 金属还原剂	15
1.3.3 氧化精炼是铁合金冶炼中的新概念	15
复习思考题	16
2 电极和炉衬	17
2.1 电极	17
2.1.1 电极的分类、性能及其用途	17
2.1.2 自焙电极的制作	18
2.1.3 自焙电极的烧结	21
2.1.4 自焙电极的接长和下放	23
2.1.5 自焙电极常见事故及其处理	24
2.1.6 电极的消耗	26
2.2 电炉炉衬	27
2.2.1 耐火材料的种类、要求及其选择	27
2.2.2 炉衬的砌筑	29
2.2.3 铁合金电炉烘炉、开炉、洗炉和停炉	33
复习思考题	36
3 矿热炉基本参数及车间概况	37
3.1 矿热炉参数计算及选择	37
3.1.1 电气参数计算及选择原则	37
3.1.2 电炉几何参数的计算和选择	38
3.1.3 电炉计算公式及实例	39
3.2 铁合金车间概况	42
3.2.1 还原车间概况(新设计车间)	42
3.2.2 精炼电炉车间的布置	48
3.2.3 电炉铁合金主要技术经济指标	50
3.3 环境保护	51
3.3.1 废气的处理	52
3.3.2 铁合金炉渣的治理和利用	52
3.3.3 废水的治理和利用	53

复习思考题	53
4 硅系合金的冶炼	54
4.1 硅铁的牌号及用途	54
4.2 硅及其化合物的物理化学性质	54
4.3 冶炼硅铁的原料	57
4.3.1 硅石	57
4.3.2 还原剂	57
4.3.3 含铁原料	58
4.4 硅铁冶炼原理	59
4.4.1 硅铁冶炼的基本反应	59
4.4.2 炉内温度区和反应状况	60
4.5 硅铁冶炼工艺及异常炉况的处理	61
4.6 冶炼 75% 硅铁的物料平衡及热平衡	67
4.6.1 炉料计算	67
4.6.2 物料平衡	71
4.6.3 热平衡计算	72
4.6.4 简易配料计算	74
4.7 硅铁精炼	75
4.7.1 合成渣精炼	75
4.7.2 氯化精炼法	76
4.8 硅钙合金	76
4.8.1 硅钙合金的牌号及用途	76
4.8.2 钙及其化合物的物理化学性质	77
4.8.3 生产方法及原料	77
4.8.4 冶炼过程中的物化反应	78
4.8.5 冶炼工艺	79
4.9 工业硅	82
4.9.1 工业硅的牌号及用途	82
4.9.2 生产工业硅的原料	82
4.9.3 冶炼原理	83
4.9.4 冶炼工艺	84
复习思考题	88
5 锰系合金的冶炼	89
5.1 锰铁的牌号及用途	89
5.2 锰及其化合物的物理化学性质	90
5.2.1 锰的主要物理化学性质	90
5.2.2 锰化合物的性质	90
5.3 锰矿	92
5.4 高碳锰铁冶炼	93
5.4.1 冶炼方法	93
5.4.2 原料	94
5.4.3 冶炼原理	94

5.4.4	冶炼工艺	96
5.4.5	配料计算	98
5.5	锰硅合金的冶炼	99
5.5.1	原料	100
5.5.2	冶炼原理	100
5.5.3	冶炼工艺	101
5.5.4	配料计算	103
5.6	中低碳锰铁的冶炼	104
5.6.1	电硅热法冶炼中低碳锰铁	105
5.6.2	电硅热法生产中低碳锰铁配料计算	108
5.6.3	摇包法、吹氧法冶炼中低碳锰铁	109
5.7	金属锰	111
5.7.1	冶炼原理	112
5.7.2	生产方法	113
5.7.3	金属锰的冶炼	115
	复习思考题	117
6	铬系合金的冶炼	118
6.1	概述	118
6.2	高碳铬铁	118
6.2.1	高碳铬铁牌号及用途	118
6.2.2	铬及其化合物的物理化学性质	119
6.2.3	高碳铬铁的冶炼工艺与原理	119
6.3	硅铬合金	125
6.3.1	硅铬合金牌号及用途	125
6.3.2	硅铬合金的性质	125
6.3.3	硅铬合金冶炼工艺及原理	125
6.4	中低碳铬铁	130
6.4.1	中低碳铬铁牌号及用途	130
6.4.2	冶炼方法	130
6.4.3	氧气吹炼中低碳铬铁	131
6.4.4	电硅热法冶炼中低碳铬铁	134
6.5	微碳铬铁	137
6.5.1	微碳铬铁牌号及用途	137
6.5.2	电硅热法冶炼微碳铬铁	138
6.5.3	热兑法冶炼微碳铬铁	143
6.6	真空法微碳铬铁	150
6.6.1	真空法微碳铬铁牌号及用途	150
6.6.2	真空法微碳铬铁冶炼原理	151
6.6.3	真空法微碳铬铁冶炼的原料	151
6.6.4	真空法微碳铬铁冶炼设备	152
6.6.5	真空法微碳铬铁冶炼操作	152
6.7	金属铬	153

6.7.1	金属铬牌号及用途	153
6.7.2	铝热法生产金属铬	154
	复习思考题	160
7	钼铁的冶炼	162
7.1	钼铁的牌号及其用途	162
7.2	钼及其化合物的物理化学性质	163
7.3	钼矿及其处理	164
7.3.1	钼矿	164
7.3.2	钼精矿的氧化焙烧	164
7.4	钼铁的冶炼	168
7.4.1	钼铁的冶炼方法	168
7.4.2	钼铁冶炼原理	168
7.4.3	硅热法冶炼钼铁	170
7.5	硅热法生产钼铁的配料计算	175
7.5.1	计算条件	175
7.5.2	计算	176
	复习思考题	178
8	钛铁的冶炼	179
8.1	钛铁牌号及用途	179
8.1.1	钛铁牌号及化学成分	179
8.1.2	钛及其化合物的物化性质	179
8.2	冶炼钛铁的原材料	181
8.2.1	含钛矿物	181
8.2.2	铁矿	181
8.2.3	硅铁	182
8.2.4	铝粒	182
8.2.5	石灰	182
8.3	钛铁冶炼原理	182
8.3.1	用碳还原	182
8.3.2	用硅还原	182
8.3.3	用铝还原	183
8.4	铝热法冶炼钛铁	183
8.4.1	冶炼钛铁的配料计算	184
8.4.2	冶炼操作过程	187
8.4.3	影响钛铁冶炼指标的因素	189
8.4.4	应用铝热法冶炼钛铁的实例	190
8.5	低铝钛铁、中钛铁及高钛铁的生产	192
8.5.1	低铝钛铁生产	192
8.5.2	中钛铁冶炼(40%钛铁的生产)	192
8.5.3	高钛铁的生产	193
8.6	电炉炼钛铁及铝粒的雾化制取	194
8.6.1	电炉炼钛铁	194

8.6.2 雾化法制取铝粒	195
复习思考题	195
9 钒铁的冶炼	196
9.1 钒铁牌号及用途	196
9.2 钒及其化合物的物理化学性质	196
9.3 含钒矿物和钒矿	197
9.4 五氧化二钒的制取	197
9.4.1 钒渣的制备	199
9.4.2 钒渣的焙烧	199
9.4.3 钒的浸出	201
9.4.4 五氧化二钒浸出液沉淀及熔化铸片	202
9.5 钒铁冶炼原理	204
9.6 电硅热法生产钒铁	205
9.6.1 冶炼设备及原料	205
9.6.2 配料计算和各期炉料分配	205
9.6.3 冶炼操作	206
9.7 铝热法生产钒铁	208
9.7.1 原料要求	208
9.7.2 配料计算	209
9.7.3 冶炼操作	209
复习思考题	210
10 钨铁的冶炼	211
10.1 钨铁的牌号及用途	211
10.2 钨及化合物的物理化学性质	211
10.3 钨铁冶炼原理	212
10.4 取铁法生产钨铁	213
10.4.1 生产设备	213
10.4.2 钨铁生产的原材料	213
10.4.3 配料计算	214
10.4.4 冶炼操作	215
10.5 积块法、炉外法生产钨铁	220
10.5.1 积块法生产钨铁	220
10.5.2 炉外法生产钨铁	221
复习思考题	222
参考文献	223

绪 论

铁合金是由一种或一种以上的金属或非金属元素与铁组成的合金，如硅铁是硅与铁的合金；锰铁是锰与铁的合金。铁合金还包括有其他非铁质元素组成的合金，如硅钙合金是硅与钙组成的合金。另外，铁合金也包括含铁极低的锰、铬、钒及工业硅等合金金属。

A 铁合金的分类及用途

a 铁合金的分类

随着现代科学技术的发展，铁合金的品种在不断扩大。铁合金的品种繁多，分类方法也多，一般按下列方法分类：

- (1) 按铁合金中主要元素分类，有硅、锰、铬、钼、钨、钛、钒等系列铁合金。
- (2) 按铁合金中含碳量分类，有高碳、中碳、低碳、微碳、超微碳等品种。
- (3) 按生产方法分类，有高炉铁合金、电炉铁合金、炉外法（金属热法）铁合金、真空固态还原法铁合金、转炉铁合金、电解法铁合金等。
- (4) 含有两种或两种以上合金元素的多元铁合金，主要品种有硅钙合金、锰硅合金、硅铬合金、硅钙铝合金、锰硅铝合金、硅钙钡合金、硅钡钒合金等。

b 铁合金的用途

铁合金是钢铁工业和机械铸造行业不可少的重要原料之一，主要用作炼钢的脱氧剂和合金剂、铸造晶核孕育剂等。

(1) 用作脱氧剂。炼钢过程中，钢液中的各种杂质主要是通过氧化的方式（加入氧化剂或吹氧）去除，所以钢液中溶有大量的氧，氧在钢液中一般以 FeO 的形式存在，如果不将残留在钢中多余的氧去除，就不能浇铸成合格的钢坯和得到力学性能良好的钢材。为此，需添加一些与氧亲和力比铁强、且其氧化物易于从钢液中排除进入炉渣的元素，使钢液中的氧含量降低，这个过程叫做脱氧。用于脱氧的元素或合金叫做脱氧剂。

钢水中各元素与氧的结合强度，即脱氧能力，从弱到强的顺序如下：铬、锰、碳、硅、钒、钛、钼、钙。因而，炼钢生产常用的脱氧剂有硅铁、锰铁、硅锰合金、硅钙合金、铝等。

(2) 用作合金剂。合金元素及含量不同的钢种具有不同的性能。钢中合金元素的含量是通过加入铁合金的方法来调整的，用于调整钢中合金元素含量的铁合金称为合金剂。常用的合金剂有硅铁、锰铁、铬铁、钨铁、钼铁、钛铁、铌铁、硼铁、镍等。

(3) 用于铸造工业，改善铸造工艺和铸件性能。改变铸铁和铸钢性能的措施之一是改变铸件的凝固条件，在浇铸前加入某些铁合金作为晶核孕育剂，形成晶粒中心，使形成的石墨变得细小分散，晶粒细化，从而提高铸件的性能。

(4) 用作还原剂。硅铁可作为生产钨铁、钒铁等其他铁合金的还原剂；硅铬合金、锰硅合金可分别作为生产中低碳铬铁、中低碳锰铁的还原剂。

(5) 用于其他工业。在有色金属和化学工业中，铁合金的使用越来越广泛，如作为有色金属的添加剂；中低碳锰铁用于电焊条的生产；铬铁用于生产铬化物和镀铬阳极材料等。

B 铁合金的生产方法

铁合金的生产方法很多，可按以下几个方面进行分类：

a 按生产设备分类

按生产设备分类主要有：

(1) 高炉法。高炉法生产铁合金与高炉炼铁相同，目前主要是生产碳素锰铁。高炉碳素锰铁生产主要原料为锰矿、焦炭和熔剂以及助燃的空气或富氧，焦炭不但是还原剂，也是燃料。原料从炉顶装入炉内，高温空气或富氧经风口鼓入炉内，焦炭在风口处燃烧，获得高温及还原性气体，对矿石进行还原反应，生成的炉渣、金属积聚在炉底，通过渣口、铁口定时排除，随着炉料的熔化下降，不断加入新料，生产是连续进行的。

高炉法生产铁合金，生产率高，成本低。但由于高炉炉内温度低，及高炉冶炼条件下金属被碳充分饱和，因此高炉法一般只用于生产易还原元素铁合金和低品位铁合金，如碳素锰铁、低硅铁、低锰铁、富锰渣等。

(2) 电炉法。电炉法是生产铁合金的主要方法。电炉法主要分为还原电炉（矿热炉）法和精炼炉（电弧炉）法两种。

还原电炉（矿热炉）法 还原电炉法是用碳作为还原剂，还原矿石生产铁合金。将混合好的炉料加入炉内，并将电极埋在炉料中，依靠电弧和电流通过炉料而产生的电阻热加热，熔化的金属和炉渣集聚在炉底，通过出铁口定时出铁出渣，生产过程是连续进行的。

精炼炉（电弧炉）法 精炼炉法是用硅（硅质合金）作为还原剂，生产含碳量低的铁合金。依靠电弧热和硅氧化反应热进行冶炼，炉料从炉顶或炉门加入炉内，整个冶炼过程分为引弧、加料、熔化、精炼、出铁等，生产过程是间歇进行的。

(3) 炉外法（金属热法）。用硅、铝或铝镁合金作还原剂，依靠还原反应产生的化学热来进行冶炼，在筒式炉中进行。使用的原料有精矿、还原剂、熔剂、发热剂以及钢屑、铁矿石等，冶炼前将炉料破碎干燥，按一定顺序配料混匀后装入筒式炉内，用引火剂引火，依靠反应热完成冶炼。

(4) 氧气转炉法。氧气转炉法使用的主体设备是转炉，其供氧方式有顶吹、底吹、顶底复合吹炼等。目前主要生产低碳铬铁和中碳锰铁，使用的原料为液态高碳铁合金、纯氧、冷却剂及造渣剂等。将液态高碳铁合金兑入转炉，高压氧气经氧枪通入转炉内进行吹炼，依靠氧化反应放出的热量脱碳，生产是间歇进行的。

(5) 真空电阻炉法。生产含氮合金、含碳量极低的微碳铬铁等产品时采用真空电阻炉法，其主体设备为真空电阻炉。冶炼时将压制成形的块料装入炉内，依靠电流通过电极时的电阻热加热，同时抽气，脱碳反应在真空固态条件下进行，生产是间歇进行的。

b 按热量来源分类

根据热量来源不同分为碳热法、电热法、电硅热法和金属热法。

(1) 碳热法。碳热法其冶炼过程的热量来源主要是焦炭的燃烧热，用焦炭作还原剂还原矿石中的氧化物，生产在高炉中进行。

(2) 电热法。电热法其冶炼过程的热量来源主要是电能，使用碳质还原剂还原矿石中的氧化物，采用连续式的操作工艺，在还原电炉中进行。

(3) 电硅热法。电硅热法其冶炼过程的热量来源主要是电能，其余为硅氧化放出的热量，使用硅（如硅铁或中间产品硅锰合金、硅铬合金）作还原剂还原矿石中的氧化物，生产时在精炼电炉中进行间歇式作业。

(4) 金属热法。金属热法其热量来源主要是由硅、铝等金属还原剂还原精矿中氧化物时放出的热量，生产采用间歇式，在筒式熔炼炉中进行。

c 按操作方法和工艺分类

根据生产工艺特点不同分为熔剂法和无熔剂法、连续式和间歇式、无渣法和有渣法等冶炼方法。

(1) 熔剂法。熔剂法生产铁合金是采用碳质材料、硅或其他金属作还原剂，生产时加造渣材料调节炉渣成分和性质（炉渣的酸、碱性）。

(2) 无熔剂法。无熔剂法生产铁合金一般多用碳质材料作还原剂，生产时不加造渣材料调节炉渣成分和性质。

(3) 连续式冶炼法。连续式冶炼法一方面根据炉口料面下降情况，不断地向炉内加料，另一方面将炉内熔池积聚的合金和炉渣定期排除。采用埋弧还原冶炼，操作功率几乎是均衡稳定的。

(4) 间歇式冶炼法。间歇式冶炼法是将炉料集中或分批加入炉内，冶炼过程一般分为熔化和精炼两个时期，熔化期电极埋在炉料中，精炼完毕，排除合金和炉渣，再装入新料，进行下一炉冶炼。由于冶炼各个时段的工艺特点不同，操作功率也不同。

(5) 无渣法。无渣法冶炼铁合金采用碳质还原剂、硅石或再制合金为原料，在还原电炉中连续冶炼。

(6) 有渣法。有渣法冶炼铁合金是在还原电炉或精炼电炉中，选用合理的造渣制度生产铁合金，其渣铁比受冶炼品种和采用的原料条件等因素影响。

C 铁合金生产技术的发展趋势

随着钢铁工业的发展和科学技术的进步，铁合金生产品种、冶炼工艺、技术装备、节能降耗、环境保护、资源综合利用等方面都有一定的发展和进步。铁合金生产技术的发展有以下几个方面：

(1) 产品结构发生变化，品种面向多元化。合理利用资源，增加产品品种，充分利用合金元素，产品向复合或多元化方向发展，是铁合金生产的发展趋势。

(2) 采用精料技术。精料技术是铁合金生产增产降耗的重要环节。如采用优质组合的碳质还原剂，搭配气煤焦和烟煤，代替一部分冶金焦；采用烧结矿、球团矿、铁精矿球团、铁鳞球团等，改善入炉矿石的制备技术和入炉条件，从而提高生产效率。

(3) 采用高效率的大型还原电炉，提高技术装备水平。包括还原电炉的大型化、连续作业；根据冶炼品种，采用全封闭式电炉或将敞口炉改造为全封闭式电炉，新建或改建半封闭式电炉；采用新型结构的电极把持器、车式加料拨料捣炉机、开堵铁口机等。

(4) 采用先进的生产工艺。采用连续法冶炼硅钙合金、一步法冶炼硅铬合金、热兑法（波伦法）生产中低碳锰铁及微碳铬铁等生产工艺，缩短工艺流程，降低能耗，提高生产效率，进而降低生产消耗和成本。

(5) 应用电子计算机控制电炉冶炼过程。用计算机控制电炉生产全过程，如配料、上料及加料、电极压放、电炉功率调节、冷却水及烟气净化系统的控制等，可提高电炉工作负荷和作业率，避免操作失误引起的炉况波动和设备事故。

(6) 采用新技术。铁合金生产新技术包括铁合金直流还原电炉技术（含中空电极技术）、铁合金熔融还原技术、等离子炉冶炼新技术、铁合金产品的深加工及芯线技术等。

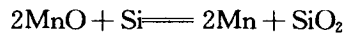
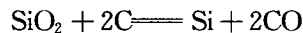
1 铁合金冶炼的基本原理

铁合金的品种十分繁杂，其冶炼设备和冶炼方法也比较多样，如何从中找出其基本规律，以便更深入地认识它，这就要从铁合金冶炼的基本原理、氧化还原过程的本质上去加深认识和理解，了解其基本特点和规律，这对于铁合金生产和进一步讨论其节能工作是非常必要的。

1.1 铁合金冶炼的本质

铁合金冶炼，尽管品种多样，设备各异，方法繁多，但从其根本上来说就是利用适当的还原剂，从含有氧化物的矿石中还原出所需元素的氧化还原过程。

例如冶炼硅铁、中低碳锰和金属铬时，其基本反应式是有其共同点的。先看以下三个反应式：



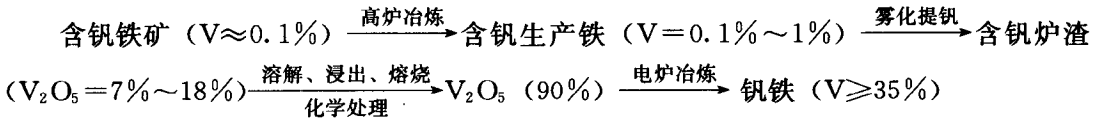
反应式中 C、Si、Al，作为不同的还原剂，分别夺取了氧化物 SiO_2 、 MnO 、 Cr_2O_3 中的氧，元素 Si、Mn、Cr 从各自的氧化物中被还原出来，组成适当成分的合金。但生产这三种产品的炉子、冶炼方法和原料大不相同。生产硅铁用碳质还原剂，在矿热炉中冶炼，采用电热法；生产中碳锰铁用硅质还原剂，在精炼电炉中冶炼，采用金属热法；生产金属铬用铝质还原剂，在筒式炉中冶炼。

以上三种合金，虽然生产方法不同，选用的还原剂性质不同，但其冶炼实质相同，可用一通式表达：

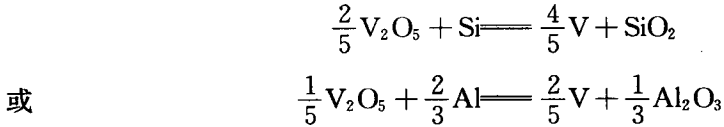


即：所需元素氧化物 + 还原剂 = 所需元素 + 还原剂中主元素的氧化物

由于各种元素在矿石中富集程度不一样，存在的状态不一样，冶炼过程就产生了区别，导致了铁合金生产的复杂性。如硅、锰、铬矿中的有用元素的含量较高、杂质含量少时则可不进行元素的富集工艺，而将矿石直接入炉冶炼；如果所用金属氧化物矿较贫，且杂质多，则需富集冶炼；如锰铁比低而磷含量高的贫锰矿，必须先在高炉或电炉中冶炼，将矿石中的磷、铁还原生成高磷生铁，将锰在炉渣中富集后，用其生成的富锰渣代替部分或全部锰矿来进行锰合金的冶炼。还有一些矿石，其中有用的元素含量很低，如钼矿中 $\text{Mo} < 0.1\%$ ，则必须先经过选矿，富集成含 Mo 元素较高的钼精矿，才能用来进行钼铁生产；稀有元素在矿石中存在较分散，并且常与其他元素组成化合物，则必须采用化学方法将元素富集后，才能用来进行合金的生产。冶炼钒铁时就是将含钒的矿石，经过多次火法、水法处理富集之后才能进行钒铁的生产。其主要工艺流程是：



钒铁原料的富集处理流程很长，使得铁合金的生产工艺，犹如制取化工产品一样，但其冶炼的本质仍然是：



在电炉铁合金的生产中，由于矿石带入杂质，大多数品种的冶炼需要采用有渣法进行，并在炉料中配入适量的熔剂，使矿石中带入的杂质在合金的冶炼过程中生成熔点、碱度适宜，且流动性能良好的炉渣，出炉后便于进行炉渣与合金的分离操作。对于这种需要采用有渣法进行生产的铁合金，冶炼者的主要任务是掌握好炉渣成分、熔点和流动性等，通过对炉渣的控制来控制好合金的成分及质量，但其冶炼本质仍然是氧化物矿石被还原的过程。

1.2 选择性还原理论在铁合金中的应用

为了得到所要求的合金成分及炉渣组成，正确地控制还原剂用量及适宜的冶炼温度十分重要，这要应用选择还原的原理，利用一定数量的还原剂，在恰当的温度下，将有用的氧化物和无用的氧化物分开，即控制还原剂有选择地去还原。选择性还原的客观规律存在于整个铁合金生产之中。

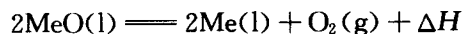
1.2.1 选择性还原与铁合金生产的关系

在铁合金冶炼中经常会遇到这种情况，原料中有好几种互相溶解的氧化物，同时加入炉内熔化，并同时加入一定量的还原剂，进行熔炼。例如把含磷含铁较高的贫锰矿、熔剂（石灰石）及少量炭素还原剂一起加入炉内，这时熔体中存在的氧化物是先后被还原，还是几种氧化物同时被还原？若同时还原又按什么比例被还原？还原剂如何分配？回答这些问题必须了解还原度，并推出选择还原的理论进行分析、回答。

1.2.1.1 还原度及选择性还原

氧化物的还原度，即指其被还原的难易程度。可以用它平衡时的氧气分解压力 $p_{\text{O}_2}^\circ$ 来表示，也可用氧化物标准生成自由能来表示。一种氧化物的平衡分解压力越大，它就越不稳定，越易被还原，其还原度大，反之亦然。

在冶金反应过程中金属氧化物的分解都属于这种形式：



其平衡常数：
$$K_1 = p_{\text{O}_2}^\circ \cdot \frac{a_{\text{Me}}^\circ}{a_{\text{MeO}}^\circ}$$

式中 $p_{\text{O}_2}^\circ$ ——纯氧化物的平衡分解压力；
 a_{Me}° ——纯金属 Me 的活度，等于 1；
 a_{MeO}° ——纯氧化物 MeO 的活度，等于 1；
 ΔH ——化学反应热效应。